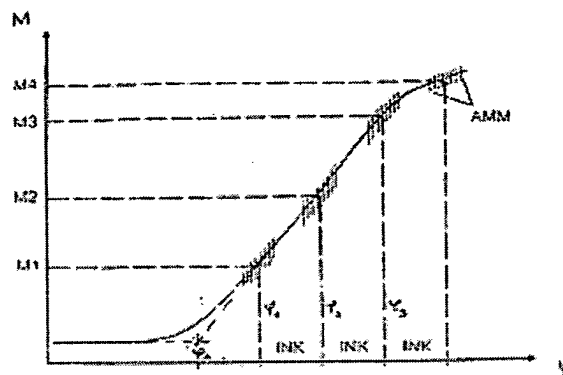


## Controlling yield point of torque or rotation angle of screws - by measuring and evaluating torque-rotation angle curve with individual screw inclination

**Patent number:** DE4033494  
**Publication date:** 1992-04-23  
**Inventor:** WIESMEIER ALBERT DR [DE]  
**Applicant:** IVECO MAGIRUS [DE]  
**Classification:**  
- international: B25B23/14  
- european: B25B23/14  
**Application number:** DE19904033494 19901020  
**Priority number(s):** DE19904033494 19901020

### Abstract of DE4033494

The determination of the application angle ( $\phi_iA$ ) of the bolt or screw to be tightened is used as a start value for monitoring in a tightening operation, independent of the build-up rate of the torque ( $M$ ). The application angle ( $\phi_iA$ ) establishes the zero point for the absolute angle of rotation, independently of the jointing operation and the friction coefficient, via which the bolt is tightened. The application angle is determined by the backward extrapolation in a linear section of the torque/angle of rotation curve. With a tightening operation, the inclination angle is taken into account. The effective initial stressing force is determined or monitored independently of the frictional coefficient in connection with the tightening operation, by a single or many time small loosening or retightening. USE/ADVANTAGE - Control of yield point of torque or angle of rotation of screws or bolts. Quick and precise without need for additional sensors.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY



①9 BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift

①0 DE 40 33 494 A 1

⑤1 Int. Cl. 5:

B 25 B 23/14

D4

②1 Aktenzeichen: P 40 33 494.5

②2 Anmeldetag: 20. 10. 90

④3 Offenlegungstag: 23. 4. 92

DE 40 33 494 A 1

⑦1 Anmelder:

Iveco Magirus AG, 7900 Ulm, DE

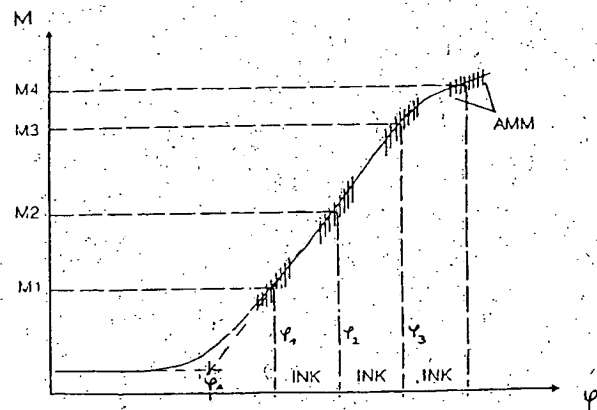
⑦2 Erfinder:

Wiesmeier, Albert, Dr., 7901 Merklingen, DE

⑤4 Verfahren zur Steuerung der Streckgrenze von Drehmoment-/Drehwinkel-Schraubern

⑤7 Bei einer bekannten Streckgrenzensteuerung dient als Kriterium der Streckgrenze die halbe Steigung der Drehmoment-/Drehwinkel-Kurve, was bereits zu einer plastischen Verformung führen kann.

Erfindungsgemäß wird das vorgenannte bekannte Streckgrenzenkriterium durch einen vorverlegten Anzugswinkel ohne Suchlauf ersetzt. Insbesondere wird für die Winkelmessung (Anliegewinkel) der Nullpunkt unabhängig vom Fügevorgang und Reibbeiwert festgelegt. Mit Kenntnis des Nullpunktes und des zu erwartenden Nachlaufwinkels ist ein punktgenaues Anfahren mit hoher Geschwindigkeit des in unabhängigen Vorversuchen festgelegten Anzugswinkels möglich.



DE 40 33 494 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung der Streckgrenze von Drehmoment-/Drehwinkel-Schraubern durch Messung und Auswertung der Drehmoment-/Drehwinkel-Kurve.

Die Festigkeit einer Schraubverbindung ist im wesentlichen gegeben durch die Vorspannkraft, die jedoch bislang während des Schraubens überhaupt nicht und danach nur in Sonderfällen gemessen werden kann. Ansätze dazu liegen in der Messung der Bolzendehnung mit Ultraschall im Echo-Impuls-Verfahren oder der Kopfzugspannung durch Änderung des Barkhausen-Rauschens.

Einfacher und bereits erprobte Praxis ist die Messung des Drehmoments oder -winkels (z. B. MACS II von Atlas Copco, Prospekt Nr. 9 837 310 704 "Qualitätssicherung bei Schraubverbindungen"). Das Meßergebnis wird allerdings maskiert durch wechselnde Reibwerte, so daß die damit erreichbare Anzugsgenauigkeit nicht ausreicht. Dies gilt vor allem für die in der Serie notwendigen hohen Schraubgeschwindigkeiten, da hier außerdem der Nachlaufwinkel hinzukommt, der von Reibung, Vorspannung und Winkelgeschwindigkeit im Abschaltmoment abhängt. Das maximal mögliche Drehmoment wird an der Streckgrenze erreicht, bei der die Belastbarkeit der Schraube und die für Setzvorgänge wichtigen elastischen Reserven voll ausgeschöpft werden. Die entsprechende Steuerung schaltet dann ab, wenn die Anstiegsrate des Drehmoments gegenüber dem linearen Bereich auf die Hälfte abgesunken ist.

Die zuverlässige und genaue Einhaltung dieses Grenzwerts ist wichtig, weil sonst die Gefahr besteht, daß die Schraubverbindung sich bei Wechsellast immer mehr lockert und schließlich bricht.

Von Nachteil bei der vorgenannten bekannten Streckgrenzensteuerung ist, daß das sogenannte Startmoment ungenau ist. Darüber hinaus erfordert sie eine Suchstufe mit reduzierter Drehgeschwindigkeit und ist bei abnormer Drehmoment-/Drehwinkel-Kurve nicht zuverlässig. Wie bereits angesprochen, sind die durch den Nachlaufwinkel hervorgerufenen Ungenauigkeiten bislang noch nicht erfaßt.

Aufgabe der Erfindung ist bei Vermeidung der vorgenannten Nachteile die Schaffung eines Verfahrens zur Steuerung der Streckgrenze von Drehmoment-/Drehwinkel-Schraubern der eingangs genannten Art, welches eine schnelle und doch präzise Verschraubung ohne zusätzliche Sensoren ermöglicht.

Gelöst wird die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe durch ein Verfahren der im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Art.

Vorteilhaft weitergebildet wird der Erfindungsgegenstand durch die Merkmale der Unteransprüche 2 bis 8.

Wesen der Erfindung ist eine individuelle, d. h. von der Anstiegsrate des Drehmoments unabhängige, schraubfallabhängige Bestimmung des Anliegewinkels eines anzuziehenden Bolzens/Schraube als Startwert für eine Überwachung bei einem Anziehvorgang. Dadurch können alle winkelbezogenen Überwachungen mit sehr großer Genauigkeit durchgeführt werden.

Insbesondere wird durch den Anliegewinkel unabhängig vom Fügevorgang und Reibbeiwert der Nullpunkt für den absoluten Drehwinkel (Anzugswinkel) festgelegt, über den der Bolzen angezogen wird.

Der Anliegewinkel wird vorzugsweise durch rückwärtige Extrapolation in einem linearen Bereich der Drehmoment-/Drehwinkel-Kurve ermittelt.

Im Gegensatz zum eingangs genannten Verfahren wird ferner zweckmäßigerweise bei einem Anziehvorgang auch der Nachlaufwinkel berücksichtigt, wodurch auch bei hohen Schraubgeschwindigkeiten Ungenauigkeiten vermieden werden. Das Reibmoment und das Trägheitsmoment des Schraubers werden vorzugsweise in unabhängigen Vorversuchen ermittelt und bei der Bestimmung des Nachlaufwinkels berücksichtigt.

Zweckmäßigerweise ist vorgesehen, daß die effektive Vorspannkraft unabhängig vom Reibbeiwert im Anschluß an den Anziehvorgang durch ein- oder mehrmaliges geringfügiges Lösen oder Wiederanziehen des Bolzens ermittelt bzw. überprüft wird. Ein derartiges Verfahren ist auch bei Setzvorgängen nach Stunden noch anwendbar und erfordert keine zusätzliche Sensorik.

Zweckmäßigerweise dient die ermittelte effektive Vorspannkraft zur Erkennung von Rückkopplungseffekten auf bereits angezogene Schrauben oder Bolzen bei Schraub- oder Bolzenfeldern. Die effektive Vorspannkraft kann bei bereits angezogenen Bolzen oder Schrauben ein- oder mehrmals in bestimmten Zeitabständen erneut gemessen und zur Prognose des Kriech- bzw. Setzvorgangs verwendet werden. Aus der ermittelten Setzgeschwindigkeit wird vorzugsweise ein Korrekturwert für die effektive Vorspannkraft abgeleitet, der das asymptotische Erreichen der konstruktiv notwendigen Vorspannkraft garantiert.

Durch die Erfindung wird somit eine schnelle und gleichwohl präzise Verschraubung ohne zusätzliche Sensoren ermöglicht. Durch frühzeitig und detaillierte Auswertung der Drehmoment-Kurve wird auch unter Serienbedingungen die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Schraubersteuerung deutlich gesteigert. Mit der Kenntnis des Nullpunkts und des zu erwartenden Nachlaufwinkels ist ein punktgenaues Anfahren mit hoher Geschwindigkeit des Anzugswinkels möglich. Dies bringt deutliche Zeitersparnis bei einer Bandmontage.

Oggleich ein linearer Verlauf der Drehmoment-/Drehwinkel-Kurve über ein hinreichend großes Intervall vorteilhaft ist, könnten unter Umständen auch andere typische Kurvenverläufe berücksichtigt werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die aus einer einzigen Figur bestehende Zeichnung näher erläutert, in der eine typische Drehmoment-/Drehwinkel-Kurve zur Steuerung der Streckgrenze eines Schraubers in einem schematischen Diagramm dargestellt ist.

## 1. Finden des linearen Bereichs

Voraussetzung für die Berechnung des Anliegewinkels durch rückwärtige Extrapolation ist das Auffinden des linearen Teils der Drehmoment-/Winkel-Kurve. Geht man davon aus, daß z. B. bei drei verschiedenen Winkeln die Drehmomente gemessen werden, so gilt innerhalb gewisser Grenzen, die z. B. durch Meßfehler oder Reibungsschwankungen verursacht werden:

$$\varphi_A = \frac{(R_0 - M_2)(\varphi_2 - \varphi_1)}{(M_2 - M_1)} + \varphi_1 \quad (5)$$

- 5 Das Toleranzband der Drehmomentkurve führt auch zu einer Unsicherheit in der Bestimmung des Anliegewinkels:

$$\Delta\varphi_A = \pm s/G_L \quad (6)$$

- 10 Bei der Überwachung des Drehwinkels zur Vermeidung einer Überdehnung ist um kleinstmöglichen Anliegewinkel

$$\varphi_s = \varphi_A - s/G_L \quad (7)$$

- 15 auszugehen, während für die weiteren Berechnungen der wahrscheinlichste Wert, nämlich der Mittelwert  $\varphi_A$  zugrundegelegt wird.

#### 4. Nachlaufwinkel

- 20 Neben dem bislang pauschal über ein Drehmoment festgelegten Anliegewinkel ist vor allem bei hohen Schraubgeschwindigkeiten der Nachlaufwinkel eine Quelle für Ungenauigkeiten. Er hat seine Ursache zum einen in der Schaltverzögerung der elektronischen Steuerung und der Reaktionszeit von Kupplung oder Ventil und zum anderen in der Massenträgheit der rotierenden Teile. Da die Schalt- und Reaktionszeiten normalerweise konstant sind, berechnet sich der entsprechende Nachlaufwinkel einfach aus dem Produkt des Zeitverzugs  $\Delta t$  mit der aktuellen Drehgeschwindigkeit  $\omega$ . Der trägheitsbedingte Nachlaufwinkel ist dagegen variabel und hängt von mehreren Faktoren wie Schraubfall, Reibung oder Drehgeschwindigkeit ab. Im folgenden wird eine mögliche Berechnung aus der Drehmoment/Drehwinkelkurve gezeigt.

Dies gestattet dem System, eine Korrektur durch früheres Abschalten bei hohen Geschwindigkeiten und weichem Schraubfall und ein späteres Abschalten bei entgegengesetzten Verhältnissen zu veranlassen.

- 30 Das Verhalten des Schraubers nach dem Abschalten wird beschrieben durch:

$$\dot{\omega} = M/J \quad (8)$$

- 35  $\dot{\omega}$ : Änderung der Drehgeschwindigkeit

J: Trägheitsmoment des Schraubers

M: Drehmoment an der Schraube  $M_s$  und Reibmoment des Schraubers  $M_R$  sowie der Schraube  $R_0$

Für das Drehmoment an der Schraube gilt an der Streckgrenze (halbe Anstiegsrate):

$$M_s = \frac{1}{2} G_L \cdot \varphi + R_0 \quad (9)$$

- 45 Eingesetzt in (8) folgt daraus:

$$-\dot{\omega} = \left( \frac{1}{2} G_L \cdot \varphi + R_0 + M_R \right) / J \quad (8a)$$

- 50 Das Reibmoment  $M_R$  und das Trägheitsmoment J des Schraubers sind konstant und können separat bestimmt werden. Sie werden daher als bekannt vorausgesetzt. Ebenso kann die Anstiegsrate im linearen Bereich  $G_L$  und die Reibung der Schraube ohne Last  $R_0$  bereits während des Anzugs gemessen werden und ist daher bekannt.

Setzt man für  $\dot{\omega}$  die Beziehung:

$$\dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\omega}{d\varphi} \cdot \omega \quad (10)$$

- 60 und geht damit in die Differentialgleichung (8a) ein, so ist eine Trennung der Variablen möglich:

$$-\omega \cdot \frac{d\omega}{d\varphi} = \left( \frac{1}{2} G_L \cdot \varphi + R_0 + M_R \right) / J \quad (8b)$$

- 65 und die Gleichung kann integriert werden:

$$\frac{M_1 - M_2}{\varphi_1 - \varphi_2} \approx \frac{M_1 - M_3}{\varphi_1 - \varphi_3} = G_L \quad (1)$$

Bei konstantem Meßintervall, d. h. konstantem Abstand der Winkel  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  und  $\varphi_3$  (Winkeldifferenz ist als INK bezeichnet) gilt vereinfacht:

$$M_1 - M_2 \approx M_2 - M_3 \quad (2)$$

Diese Berechnung kann mit einem Mikroprozessor sehr schnell ausgeführt werden. Ist das Ergebnis negativ, d. h. die Abweichung von der Geraden größer als ein vorgegebenes Limit, wird  $M_2$  an die Stelle von  $M_1$ ,  $M_3$  an die Stelle von  $M_2$  gerückt und  $M_3$  durch einen neuen Meßwert ersetzt. Günstig bei der Berechnung von  $M$  ist die Mitteilung über eine Anzahl benachbarter Werte. Die Anzahl wird mit AMM bezeichnet.

## 2. Überprüfen der Linearität und Definition des Toleranzbands

Für die spätere Auswertung der Drehmoment-/Winkel-Kurve ist die Kenntnis der Unsicherheit, hervorgerufen durch kurzzeitige Reibungsschwankungen und durch den Meßfehler, von großer Bedeutung.

Ein Maß dafür ist die Abweichung  $\Delta M$  der Einzelwerte vom linearen Verlauf der Drehmomentkurve, der durch die auseinanderliegenden Stützwerte bestimmt wurde:

$$\Delta M = M_i - G(\varphi_i - \varphi_1) + M_1 \quad (3)$$

$M_i$ : Drehmoment, gemessen beim Winkel  $\varphi_i$

Durch Berechnung des Mittelwerts und der Standardabweichung von  $\Delta M$ , getrennt für die beiden Intervalle ( $M_1, M_2$ ) und ( $M_2, M_3$ ) kann überprüft werden, inwieweit der tatsächliche Verlauf mit dem berechneten übereinstimmt und wie groß die Unsicherheit ist:

$$\Delta \bar{M} = \sum \Delta M_i / n \quad (3a)$$

$$s = \sqrt{(\sum \Delta M_i^2 - n \cdot \Delta \bar{M}^2) / (n(n-1))} \quad (3b)$$

Ist der Mittelwert  $\Delta \bar{M}$  gleich oder ungefähr gleich Null, dann ist mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß die Abweichungen um den linearen Verlauf herum streuen. Die Standardabweichung ist dann ein Maß für die Unsicherheit, mit der die lineare Kurve bestimmt wurde.

Komplizierter ist der Fall, wenn die Mittelwerte von  $\Delta M$  deutlich von Null verschieden sind. Dann ist eine systematische Abweichung vom linearen Verlauf zwischen den Stützwerten anzunehmen.

Ist diese Abweichung im "unteren" Intervall ( $M_1, M_2$ ) vorhanden, dann wurde evtl. zu früh mit der Suche nach dem linearen Teil begonnen, und die Prozedur muß, ausgehend von  $M_2, M_3$  und einem neuen Punkt  $M_k$ , neu gestartet werden.

Tritt dagegen die Abweichung im "oberen" Intervall ( $M_2, M_3$ ) auf, dann hat evtl. die Suche nach dem linearen Verlauf bereits zu lange gedauert ( $\Delta \bar{M} > 0$ ), oder es ist ein zusätzliches Reibmoment zwischen  $M_2$  und  $M_3$  aufgetreten ( $\Delta \bar{M} < 0$ ). In beiden Fällen muß die automatische Schraubersteuerung abgebrochen werden.

## 3. Berechnung des Anliegewinkels

Als Anliegewinkel wird der Winkel verstanden, ab dem jegliches Spiel verschwunden ist und die Vorspannkraft des Bolzens aufgrund seiner elastischen Dehnung zunimmt. Er wird definiert als Schnittpunkt der belastungsfreien Reibung  $R_0$  und der rückwärtigen Verlängerung des linearen Teils der Drehmoment-/Winkel-Kurve (Drehmoment-Anstiegsrate).

Dagegen ist die Festlegung eines empirischen Startmoments als Nullpunkt für den Drehwinkel (z. B. bei der Macs II-Steuerung) ungenügend, weil im flach ansteigenden Teil der Drehmoment-Drehwinkel-Kurve der Einfluß abweichender Reibung besonders groß ist:

$$\Delta W = \Delta M / G \quad (4)$$

$\Delta W$ : Winkelfehler

$\Delta M$ : Drehmomentabweichung

$G$ : Gradient der Kurve

Kann man von einem linearen Bereich der Drehmomentkurve ausgehen, dann erfolgt die Festlegung des Anliegewinkels  $\varphi_A$ , was den Vorteil hat, daß man sich vom Drehmoment lösen kann, das wegen der unterschiedlichen Reibung als Steuerparameter sehr unsicher ist. Kann man von einer konstanten Reibung ohne Last  $R_0$  ausgehen, dann ergibt sich für den Anliegewinkel (Fig. 1):

$$\frac{1}{2} \omega^2 + C = \left( \frac{1}{4} G_L \varphi^2 + (R_o + M_R) \varphi \right) / J. \quad (11)$$

Die Integrationskonstante C folgt aus der Bedingung, daß im Abschaltmoment der Nachlaufwinkel  $\varphi$  gleich 0 und die Winkelgeschwindigkeit gleich  $\omega_o$  ist:

$$C = \frac{1}{2} \omega_o^2 \quad (12)$$

$\omega_o$ : Drehgeschwindigkeit im Abschaltmoment

Der Schrauber ist dann zum Stillstand gekommen, wenn die Winkelgeschwindigkeit auf Null abgesunken ist. Einsetzen von (12) in (11) und Bestimmung der Nullstellen liefert dann den gesuchten Winkel:

$$\varphi_{1,2} = -\frac{R_o + M_R}{G_L/2} \pm \sqrt{\left( \frac{R_o + M_R}{G_L/2} \right)^2 + 2 \omega_o^2 J / G_L}. \quad (13)$$

Da sämtliche Terme unter dem Wurzelzeichen mit Sicherheit positiv sind (positiv definit), ist die Wurzel aus ihrer Summe größer als der Ausdruck:  $2(R_o + M_R)/G_L$ . Da der Nachlaufwinkel nur positiv sein kann, braucht daher nur das positive Vorzeichen vor der Wurzel berücksichtigt zu werden:

$$\varphi_N = \sqrt{\left( \frac{R_o + M_R}{G_L/2} \right)^2 + 2 \omega_o^2 J / G_L} - \frac{R_o + M_R}{G_L/2} \quad (14)$$

Durch die individuelle, d. h. von der Anstiegsrate des Drehmoments unabhängige Bestimmung des Anliegewinkels  $\varphi_A$  können alle bisher schon üblichen winkelbezogenen Überwachungen mit erheblich größerer Genauigkeit durchgeführt werden. Setzt man das Elastizitätsmodul des Schraubenmaterials als bekannt voraus (es unterliegt im allgemeinen wesentlich geringeren Schwankungen als der Reibbeiwert), so kann der Reibbeiwert bestimmt werden gemäß:

$$\mu = (M - R_o) \cdot \frac{L \cdot 360 \cdot 2}{E \cdot A_{SP} \cdot P \cdot (\varphi - \varphi_A) D_2} - \frac{P}{U} \quad (15)$$

E: Elastizitätsmodul

$A_{SP}$ : Spannungsquerschnitt der Schraube

P: Steigung

L: Klemmlänge

U: Umfang (=  $D_2 \pi$ )

Die Berechnung des Nachlaufwinkels mag kompliziert erscheinen. Sie kann aber durch entsprechende Näherungsformeln deutlich vereinfacht werden. Eine andere Möglichkeit ist die Ablage von Tabellenwerten, die den Nachlaufwinkel als Funktion von  $\omega_o$  und  $G_L$  kennzeichnen. Der Einfluß von  $R_o$  ist klein.

Da alle Berechnungen schon vor dem Abschalten des Schraubers durchgeführt werden, ist damit eine rechtzeitige Korrektur möglich.

## 5. Überprüfen der Vorspannkraft

Will man die erzielte Vorspannkraft überprüfen, so geschieht dies dadurch, daß man das Drehmoment beim Anziehen und beim Nachlassen mißt. Da die Reibung immer der Bewegung entgegensteht, ergibt sich gemäß Gleichung (15):

$$M_A - M_N = 2 E \frac{A_{SP}}{L} \cdot \frac{P(\varphi - \varphi_A)}{360} \cdot \frac{P}{U} \quad (16)$$

$M_A$ : Drehmoment beim Anziehen der Schraube

$M_N$ : Drehmoment beim Nachlassen der Schraube

oder:

$$M_A - M_N = 2 F_v P / U$$

Daraus folgt:

$$F_v = U(M_A - M_N)/2P \quad (17)$$

Bei Erreichen der Streckgrenze kann unter Umständen eine irreversible Streckung erfolgen. Dies wird dadurch vermieden, daß in einem automatisierten Meßvorgang nach Abschalten des Schraubers erst nachgelassen und dann wieder angezogen wird.

#### 6. Prognose des Kriech- bzw. Setzvorgangs

Besonders bei der Verbindung lackierter Teile treten Kriech- bzw. Setzvorgänge auf, bei denen der Farbüberzug aus den Preßflächen weggedrückt wird. Dieser Vorgang ist in der Literatur ausführlich dargestellt, insbesondere sind charakteristische Zeitverläufe dort angegeben. Näherungsweise wird bei großen Materialstärken des Lackauftrags von einem exponentiellen Verlauf ausgegangen, gemäß:

$$-\frac{dL_s}{dt} = K_F \cdot F_v = K_F \cdot E \cdot A_{SP} \cdot \frac{L_s}{L_0} \quad (18)$$

$L_s$ : Bolzendehnung unter Spannung ( $= L - L_0$ )

$K_F$ : Konstante

$L_0$ : Bolzenlänge ohne Spannung

Integration liefert:

$$L_s = e^{-K_F \cdot E \cdot A_{SP}/L_0 \cdot t} \quad (19)$$

Die mindestens zweifache Messung von  $L_s$  zu zwei verschiedenen Zeitpunkten liefert die Konstante  $K_F$ .

Damit ist es möglich, den Zeitpunkt abzuschätzen, zu dem die Vorspannung auf einen z. B. kritischen Wert gefallen ist. Durch gezielte Steuerung von Produktionsabläufen kann ein Nachziehen der Verschraubung dann eingeplant werden.

Die "Konstante"  $K_F$  beinhaltet:

- die Kriechfestigkeit der Farbschicht und
- die Geometrie der Kontaktflächen:

Beide Parameter können von der Stärke der Farbschicht beeinflusst sein, besonders im Grenzfall, bei dem das Farbmaterial beinahe vollständig aus dem Kontaktbereich verdrängt wird. Dies führt aber in jedem Fall nur zu einer Verlangsamung des Kriechens, so daß die Prognose als konservativ angesehen werden kann und auf der sicheren Seite liegt.

Im oben erwähnten Grenzfall

- nehmen die Flächenanteile, an denen die metallischen Oberflächen direkt aufeinanderliegen, deutlich zu,
- kommt es zum allseitigen Einschluß von Farbmaterial,
- müssen hohe Scherkräfte überwunden werden, um noch mehr Farbmaterial aus dem Spalt zwischen den metallischen Oberflächen auszutreiben.

Alle drei vorgenannten Effekte bewirken eine drastische Verkleinerung des Parameters  $K_F$ , der im Gegensatz zum vorhin betrachteten Fall dicker Lackschichten keinesfalls mehr als konstant angesehen werden kann. Aufgrund der angegebenen Methode ist es möglich, nicht nur im Labor, sondern am realen Objekt in der Produktion den Festigkeitsverlauf in Abhängigkeit von  $K_F$  zu bestimmen. Mit den so gesammelten Erfahrungswerten kann dann gezielt beim Nachziehen der Verschraubung ein höherer Wert der Vorspannkraft angefahren werden (solange er unter der Streckgrenze bleibt), der nach Beendigung des Setzvorgangs die gewünschte Endfestigkeit garantiert.

Ersichtlich wird durch das erfindungsgemäße Verfahren das bekannte Kriterium der Streckgrenze (halbe Steigung der Drehmoment-/Drehwinkel-Kurve), das bereits zu einer plastischen Deformation führt, durch einen vorverlegten Anzugswinkel ohne Suchlauf ersetzt. Dadurch wird die bekannte Streckgrenzensteuerung deutlich verbessert.

Alle in der Beschreibung erwähnten und/oder in der Zeichnung dargestellten neuen Merkmale allein oder in sinnvoller Kombination sind erfindungswesentlich, auch soweit sie in den Ansprüchen nicht ausdrücklich beansprucht sind.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung der Streckgrenze von Drehmoment-/Drehwinkel-Schraubern durch Messung und Auswertung der Drehmoment-/Drehwinkel-Kurve, **gekennzeichnet durch** eine individuelle, d. h. von der Anstiegsrate des Drehmomentes ( $M$ ) unabhängige, schraubfallabhängige Bestimmung des Anliegewinkels ( $\varphi_A$ ) des anzuziehenden Bolzens/Schraube als Startwert für eine Überwachung bei einem Anziehvorgang.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Anliegewinkel ( $\varphi_A$ ) unabhängig vom

Fügevorgang und Reibbeiwert den Nullpunkt für den absoluten Drehwinkel festlegt, über den der Bolzen angezogen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Anliegewinkel ( $\phi_A$ ) durch rückwärtige Extrapolation in einem linearen Bereich der Drehmoment-/Drehwinkel-Kurve ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Anziehvorgang der Nachlaufwinkel berücksichtigt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Reibmoment und das Trägheitsmoment des Schraubers in unabhängigen Vorversuchen ermittelt und bei der Bestimmung des Nachlaufwinkels berücksichtigt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die effektive Vorspannkraft unabhängig vom Reibbeiwert im Anschluß an den Anziehvorgang durch ein- oder mehrmaliges geringfügiges Lösen oder Wiederanziehen ermittelt bzw. überprüft wird.

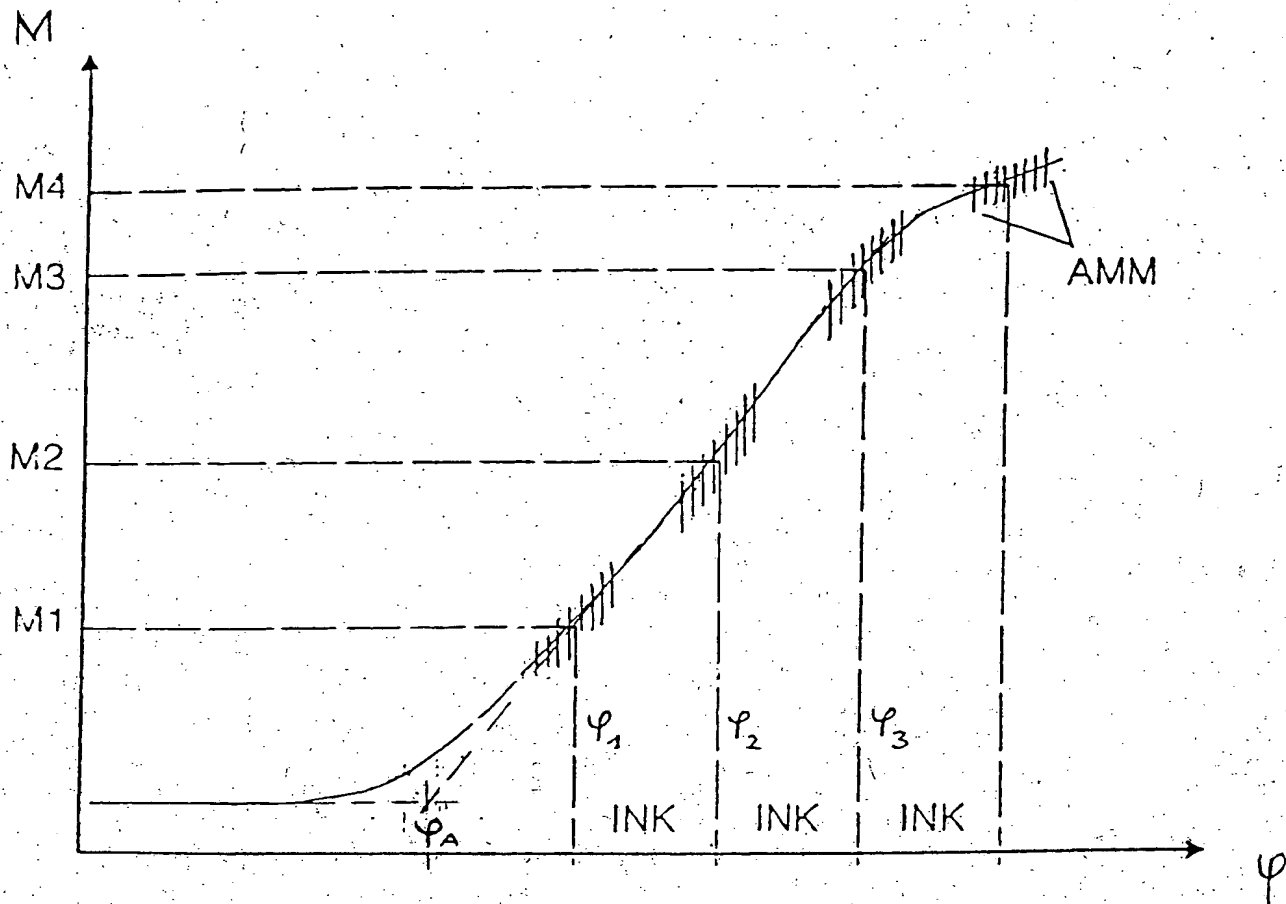
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelte effektive Vorspannkraft bei Bolzenfeldern zur Erkennung von Rückkopplungseffekten auf bereits angezogene Bolzen verwendet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die effektive Vorspannkraft bei bereits angezogenen Bolzen ein- oder mehrmals in bestimmten Zeitabständen erneut gemessen und zur Prognose des Kriech- bzw. Setzvorgangs verwendet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß aus der ermittelten Setzgeschwindigkeit ein Korrekturwert für die effektive Vorspannkraft abgeleitet wird, der das asymptotische Erreichen der konstruktiv notwendigen Vorspannkraft garantiert.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**